

Válasz

Dr. Horvai György akadémikus opponensi bírálatára

Mindenekelőtt szeretném megköszönni Dr. Horvai Györgynek, hogy kedvező véleménnyel van doktori disszertációmról és a hozzá vezető munkáról. Nagy öröm olvasni, hogy bírálóm alkalmasságom bizonyítékát látja munkám széles spektrumában és a témák kidolgozásának mélységében, valamint hogy értékelése szerint az értekezés döntő többségében magas színvonalú, elmélyült kutatómunka eredményeit mutatja be.

Nagyon köszönöm bírálómnak, hogy értekezésemet nagyon alaposan áttanulmányozta és számos észrevételt, kérdést tett fel, ami azt mutatja, hogy bírálóm szakmai érdeklődését is felkeltették eredményeim. Észrevételeinek egy része az értekezés szerkesztésével és a sajtóhibákkal kapcsolatos, ezekkel feltétlenül egyet tudok érteni. Az alábbiakban néhány további észrevételére külön is szeretnék reflektálni.

Észrevételek:

Általában elmondható, hogy ha az olvasó előbb a cikkeket olvassa és utána az értekezést, akkor az értekezés egy jól megírt összefoglalónak tűnik. Fordított olvasási sorrend esetén viszont az olvasónak nagyon gyakran az az érzése, hogy a kapott információ kevés a megértéshez.

A DSc dolgozatokra érvényes területi korlátok miatt nem tudtam több részletről beszámolni. Úgy érzem, hogy a munka így is meglehetősen terjedelmes, és sajnálom, ha nem sikerült az optimális arányt elérnem a részletek és a terjedelem által megadott korlátok között.

31. old.

A 2.2.3.1. (és a 2.2.3.2.) ábrán az STM ábrák (A,B, stb.) beazonosítása hiányzik, emiatt a leírás nem igazán követhető. Az egyes STM ábrák léptékeinek jelentős különbségére sem hívta fel a figyelmet.

Az STM ábrákat a ciklikus voltammogram adott tartománya fölé és alá helyeztem el, de ezt a szövegben nem magyaráztam el, illetve nyilakkal nem jelöltem. Az ábrák alá elhelyeztem a méreteket, de a méretkülönbségekre nem hívtam fel a figyelmet.

37. old. közepe

„sötétebb” és „világosabb” – a színskála jelentése hiányzik.

Általánosan elmondható, hogy a pásztázó alagútmikroszkóppal készült felvételeknél a színskála a lokális elektronsűrűséget valamint a tú-minta távolságot jellemzi. a két hatás együtt befolyásolja a mért alagútáramot. Atomi léptékben sík felületek esetében a színskála a lokális elektronsűrűség változásaihoz van hozzárendelve.

38. old. A 2.2 fejezet összefoglalása

A „kettősréteg” kifejezés sokadszor fordul elő, az elektrokémiában használatostól eltérő értelemben (és magyarázat nélkül).

A kettősréteg kifejezést a szilárd anyagok és folyadékok határfelületén kialakult térrészre értem, amely tulajdonságai eltérnek a többfázisok tulajdonságaitól. A 2. fejezetben a folyadék fázis határfelületi tartományával foglalkoztam, azaz a kettősrétegnek a folyadékfázis által alkotott részével. A szilárd határfelületi tartomány hatását elhanyagoltam, mivel fémes anyagokat vizsgáltam. A kettősréteg kifejezést ebben az értelemben használtam.

A 3.1. fejezet (felületi akkumulációs számítások) nehezen követhető az atomreaktor működését közelről nem ismerő olvasónak. A vizsgált rendszert bemutató 3.1.2.1. blokkdiagram sem elég informatív.

Igyekeztem egy nagyon bonyolult műszaki rendszert szemléletesen ábrázolni, csak azokat az egységeket feltüntetve, melyeknek szerepe volt számításaimban. Az észrevétel tükrében valóban jobb lett volna egy részletesebb ábrát készíteni.

A fejezet tudományos szempontból nehezen értékelhető, bár a gyakorlat számára bizonyára fontos. Önmagában az anyagmérlegek felállítása és a megoszlási hányadosok kiszámítása nem tűnik tudományos újdonságnak. Az adatok nem is győznek meg arról, hogy ebben a bonyolult rendszerben a megoszlási hányados jogosan alkalmazható. A 83. oldalon található megjegyzés, miszerint „ K értéke függ a vizes fázis térfogatának, valamint a szerkezeti anyagok és fűtőelem kazetták felületének nagyságától is”, véleményem szerint vagy félreértés, vagy épp azt jelzi, hogy a megoszlási hányados ebben a rendszerben nem alkalmazható.

A céloom éppen az volt, hogy egy műszaki paramétert, tehát egy nem feltétlenül szabatos fizikai-kémia mennyiséget, vezessek be, amelynek segítségével a tárgyalt problémához hasonló feladatok sikerrel megoldhatók. A számított megoszlási hányadosok csak az adott reaktorban érvényesek, és nem anyagi minőségtől független állandók. Szerepük mindazonáltal nagyon fontos volt számításaimban, hiszen kizárólag a segítségükkel lehetett megbecsülni a felületi aktivitásokat a folyadékfázisban mért aktivitások alapján.

A 3.1.3.3.1. és a 3.1.3.3.2. táblázatok fejlécében több mértékegység is feltehetően hibás, így K dimenziója a 3.1.3.3.6. képlet alapján nem lehet M , ms dimenziójának G jelölése pedig valószínűleg elírás.

A táblázatban megadott mértékegységek helyesen: $[K]=m$, illetve $[m_s]=g$.

A 3.2. fejezet (korróziótermékek primer körü transzportja) nehezen követhető az atomerőművi berendezések pontos ismerete nélkül. A jelölt itt a korróziótermékek keletkezési és lerakódási anyagmérlegeinek leírása céljából felállította az erőmű primer körének egyszerűsített modelljét, majd az erőműből kapott adatokat statisztikailag elemezte e modell segítségével. Úgy tűnik, hogy maguk a statisztikai számítások nem jelentettek újdonságot a statisztika tudományában, inkább a modellalkotás, az ésszerű szakmai egyszerűsítések voltak fontosak. A kapott eredmények a várakozásoknak meg is feleltek.

Bírálom munkám célját is nagyon pontosan fogalmazta meg: a probléma megoldásához olyan modellt kellett alkotnom, amelyik elfogadhatóan leírja a nagyon bonyolult rendszert és a rendelkezésre álló mérések alapján hasznos eredményeket szolgáltat. Eredményeim, túl a gyakorlati fontosságon, azonban azt is megmutatták, hogy megfelelő mintavételezéssel és mérésekkel átfogó és hasznosítható képet lehet alkotni a primer kör állapotáról, ami tényleg megfelelt a várakozásoknak.

A 3.2.1.1. táblázat nem világos. Például az első és a harmadik adatsor körülményei közti különbség bővebb magyarázatot kíván. Nem világos továbbá, hogy Pakson hogyan kaphattak BWR-re vonatkozó eredményeket (ötödik adatsor).

A táblázatban a szakirodalomban fellelhető korróziósebességi adatokat foglaltam össze az első négy oszlopban. Az ötödik oszlopban közöltem a szakirodalmi adatok alapján számítható korróziósebességi értékeket. A táblázat célja annak bemutatása, hogy milyen mértékű korrózióra lehet számítani Paksi Atomerőműben a szakirodalmi adatok alapján. A BWR reaktorokra érvényes adatokból kapott értékeket az összehasonlítás kedvéért közöltem a táblázatban azt érzékeltetendő, hogy nagyon eltérő működési feltételek mellett is hasonló nagyságrendű korrózióval kell számolni.

Bírálom számos kérdést is feltett munkámmal kapcsolatban, melyek jól tükrözik, hogy alaposan áttanulmányozta értekezésemet és nagy érdeklődést tanúsít iránta. Kérdéseire az alábbiakban próbálok megfelelő választ adni.

Kérdések:

11. old.

2.1.2.2. képlethez: vákuumban mekkora az alagútáram? A képlet nem egyenlőség, csak arányosságokat jelez.

A Schrödinger-egyenlet stacionárius alakjából csak az alagutazás valószínűsége adható meg, mivel nem ismerjük az elektron átlépésének sebességét. Az alagútáram csak kinetikus modell alapján adható meg közelítő pontossággal, figyelembe véve az anyagi minőséget és a két fémes fázis között feszültséget is. A legegyszerűbb, ún. Bardeen-féle közelítésben (Phys. Rev. Lett. 6, 57–59 (1961)) az alagútáram a mintában és a tüben lévő állapotsűrűségekből és az elektronok tartózkodási valószínűségéből nyerhető perturbációszámítással.

13. old. utolsó bek.

Azt írja, hogy a tömbfázisok közti potenciálkülönbség „gyakorlatilag nem függ a hibahelyek jelenlététől”. Nem kell ennek elméletileg is így lennie?

Valóban, egymással érintkező, elektromosan vezető fázisok belseje közötti elektrosztatikus potenciálkülönbség nem függ a határfelület minőségétől, jellegétől. Ebből a szempontból a szimulációk helyesen írják le a rendszert.

A 2.1.3. fejezethez kapcsolódó JEAC 433–153 közlemény szerint a Pt és O atomok közti kölcsönhatás az O atomot a Pt tetejére nyomja (pushes on top of the Pt atom). A vízmolekulák a platinán „on-top” pozíciókban vannak. Ez az állítás feltehetően sík platina felületre vonatkozik. Érvényes marad ez a hibahelyek vizsgálatánál is?

A hibahelyekben érvényesül a hibahely alján lévő platina hatása is a vízmolekulákra. Mivel az oxigén-platina kölcsönhatás erős illetve a hidrogén-platina kölcsönhatás taszító jellegű, a vízmolekulák a hibahelyekben is hasonló orientációjúak, mint a tökéletes platina felület fölött.

17. old.

Itt a szerző azt írja, hogy „találhatók olyan molekulapárok is, melyeknek pozitív az összenergiájuk. ...ezt a stabil de kedvezőtlen energiájú konfigurációt, ...” Mit értett ezen (pozitív de stabil)? És mit ért egy vízmolekula-pár összenergiáján?

A „pozitív összenergiájú molekulapárok” alatt azt értettem, hogy az adott konfigurációban lévő két vízmolekula energiájának összege nagyobb, mint két egymástól végtelen távol lévő vízmolekula energiájának összege. Azaz, a vízmolekulák taszítják egymást, és nem vonzzák, mint azt a H-kötésben lévő molekulák teszik.

18. old.

A víz oxigénatomjainak sűrűségprofilja a felület közelében maximumot mutat. Ezért adszorbeált vízrétegről beszél a szerző. Hogyan definiálja a vizsgált rendszerekben az adszorpció fogalmát?

Adszorpciónak tekintem a platina felülethez legközelebb elhelyezkedő vízmolekulák elrendeződését, amelyet a platina atomok és a vízmolekulák közötti kölcsönhatás határoz meg. Az adszorbeálódott rétegben a víz sűrűsége nagyobb, mint a felülettől végtelen távol.

19. old. *A vízmolekulák orientációjának leírása illetve annak indoklása nem elég világos. Talán egy ábra segítene a megértésben.*

A legjellemzőbb konfigurációkat a 2.1.3.1.1 (a) és (b) ábrákkal szemléltethettem volna. A vízmolekulák hasonló orientációt vesznek fel a szén és a grafitfelületeknél, azaz a felület geometriája és hidrogénhíd-kötések kialakulása miatt mindkét esetben hasonló lesz az adszorbeált vízréteg szerkezete.

A χ potenciál a szén felületen nulla. Miért? A szénnel való kölcsönhatások elektromos részével nem foglalkozott? A Pt-víz rendszerben a Pt atomrácshoz képest is nézte a víz elhelyezkedését. A C-víz rendszerben miért nem foglalkozott ezzel a kérdéssel?

A potenciált definíciószerűen nullának tekintem a felületen. A kérdés az, hogy a víz potenciálja mennyire tér el a szilárd fázis potenciáljától.

A szimulációkban a szénfelületre elektromos töltést nem vittem fel, az elektromos kölcsönhatást elhanyagoltam. Mivel a szén-víz kölcsönhatás jóval gyengébb, mint a Pt-víz kölcsönhatás, a szimulációk eredménye arra mutatott, hogy a vízmolekuláknak nincs kitüntetett helyzete a szénatomokhoz képest.

20. old.

A vízmolekulák dipólus illetve OH vektorának a felület normálisához viszonyított állását az egyes bezárt szögek cosinusának eloszlásával jellemzi. A külön-külön jellemzés elvileg nem helyes, mert az eloszlások általában nem függetlenek és ezért belőlük az együttes eloszlásra nem lehet következtetni.

3

Megjegyzendő azonban, hogy ez a probléma a jelölt cikkeinek megírása idején még nem volt tisztázva a szakirodalomban.

Mint azt bírálóm korábbi munkájában kimutatta, az általam használt leírási mód a vízmolekulák orientációjára csak két független változó együttes eloszlásával lehet teljes mértékben leírni. A platina-víz határfelülettel kapcsolatos munkáim során még nem volt tudomásom az általam használt módszer hátrányairól. Erre bírálóm szerzőtársa hívta fel a figyelmet a későbbiekben, mikor a grafit-víz határfelülettel foglalkoztam. Ez utóbbi rendszerben végeztem is számításokat kétdimenziós eloszlási függvények meghatározására, ezek publikálására azonban végül nem került sor. A szobahőmérsékeltű rendszerekkel kapcsolatos publikációk már korábban elfogadásra kerültek. A magas hőmérsékeltű rendszerekkel kapcsolatban elsősorban a hőmérsékletfüggést kívántuk bemutatni, és a kétdimenziós függvények hőmérsékletfüggése nehezen láttatható.

21. old.

Hogyan számította a relatív permittivitást a szimulációs eredményekből?

Az ε relatív permittivitást dipólusmomentum-fluktuációkból számítottam az [F23] publikációmban leírt módon:

$$\varepsilon = 1 + \frac{4 \cdot \pi \cdot \overline{M^2}}{3 \cdot V \cdot k_B \cdot T}$$

A képletben $\overline{M}(t) = \sum_{i=1}^N \overline{\mu_i}(t)$ a rendszer teljes dipólusmomentum-vektora, $\overline{\mu_i}(t)$ az i . vízmolekula dipólusmomentum-vektora, N a vízmolekulák száma, V a térfogat, k_B a Boltzmann-állandó, T a hőmérséklet. A $\langle \rangle$ zárójelek időbeli átlagot jelölnek.

22. old.

A szobahőfok feletti számításoknál a nyomás mekkora volt?

Értekezésemben részletesebben kellett volna tárgyalnom, hogy a szimulációkban a tömbfázisbeli víz sűrűségét úgy állítottuk be, hogy az megegyezzen az aktuális hőmérséklethez tartozó egyensúlyi értékkel (Schmidt, E. In Properties of Water and Steam in SI Units; Grigull, U., Ed.; Springer-Verlag: Düsseldorf, 1969.)

25-26. old.

A Pt felület különböző típusú részein számított alagutazási valószínűségek átlagolása hogy történt? A kísérlet mi volt és mennyire jogos a számítások átlagával vetni össze? Miért nem csökken az alagutazás valószínűsége 0,2 és 0,4 nm között? (A valószínűség a távolság növelésével vákuumban nem csökken?)

Amint azt az értekezésben is kifejtettem, a számítások egydimenziós közelítésben történtek. Nagyszámú vízkonfigurációra kiszámítottam a potenciálteret, amit különböző adszorpciós helyek fölött átlagoltam egy dimenzióban. A potenciál távolságfüggvényt használva megoldottam a Schrödinger-egyenletet megkapván az alagutazás valószínűségét.

Az alagútáram mérése az STM tű elmozdításával történt a Pt felületre merőlegesen. A mért áramot regisztráltam különböző távolságokra a felülettől. Ennek az ún. távolságspektroszkópiás mérésnek a laterális reprodukálhatósága nem tette lehetővé, hogy különbséget tegyek a felületi adszorpciós helyek között.

Az alagútáram aktuális értékét a lokális potenciál szabja meg, ami víz helyi szerkezetétől függ. A Pt felületnél lévő vízréteg és a második vízréteg szerkezete miatt olyan potenciálviszonyok alakulnak ki a 0,2 nm és 0,4 nm közötti távolságban hogy a számított alagútáram nem csökken. Ezt a jelenséget nem tapasztaltam a grafit-víz határfelület esetében.

A 2.1 és 2.2 fejezetben a vezető szilárd anyag feletti folyadékrétegben a felületre merőlegesen, egy dimenzióban számítja az elektromos potenciált, majd az alagutazás valószínűségét az így kapott potenciálgátból számítja. Bár a 34. oldalon megjegyzi, hogy ez az egydimenziós eljárás nagyon közelítő jellegű, felvetődik, hogy nem túl nagy elhanyagolásokról van-e itt szó?

Az alagutazás valószínűségének korrekt számítása lehetséges három dimenzióban is egy gaussi hullámcsoport vízrétegen történő áthaladásának modellezésével. Ez a módszer

azonban erősen számítógép-kapacitás igényes és a nekem nem álltak rendelkezésemre megfelelő erőforrások.

Az egydimenziós közelítés véleményem szerint elfogadható, tekintve, hogy az alagutazó elektronok túlnyomó többsége a tű hegye és a minta tű alatti pontja között lépnek át, a felület távolabbi pontjairól alagutazó elektronok mennyisége csak másodlagos közelítésben fontos.

Háromdimenziós szimulációkat A. Nitzan és I. Benjamin végzett (pld. Acc. Chem. Res. 32, 854 (1999)), melyek eredményei tényleg túlmutatnak az egydimenziós közelítés adta lehetőségeken, különösen a diszkrét rezonanciállapotok hatásának tekintetében.

33. old. közepén

„2.1.2.1. egyenlet alapján” – itt 2.1.2.2. lenne helyes „A potenciálgát konstans értéket vesz fel”. Mit jelent ez? Az ábra szerint Φ konstans. Akkor mit ért gáton?

A számítások alapján olyan kép rajzolódik ki, mintha az alagutazó elektron egy konstans magasságú potenciálgáton haladna át, azaz az alagúteffektust nem befolyásolja a folyadék lokális szerkezete.

35. old. ábrái

Az STM tű a rézzel borított arany felületen (ld. Ábra) miért tud az arany felszínig ($\Delta s=0$) eljutni?

Eredményeim alapján az valószínűsíthető, hogy a tű a rézrétegig jut el anélkül, hogy az előleválási réteget megbontaná. Az előleválási rétegben a kölcsönhatások azonban nem olyan erősek, mint egy szilárd fázisban, így a réteg helyi megbontásával a tű eljuthat az arany felszínéig.

A 2.4.3.1. ábrán bemutatott rétegvastagság-idő függés adatai erősen szórnak. Így a rájuk illesztett köbgyökös időfüggvény nem tekinthető precíznek. Ezért felvetődik a kérdés, hogy a gyakorlatban szükség van-e a kapott összefüggés extrapolálására az ábrán bemutatott 250 napos időtartamon túl is. (A Zr-Nb ötvözetet hosszabb ideig használják?)

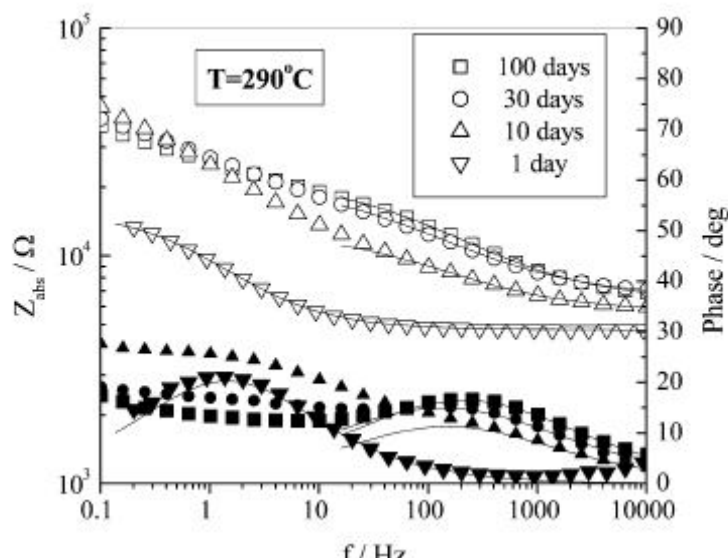
A cirkóniumötvözet, mint a fűtőelemek tokja, általában három éven keresztül van a reaktor primerkörében. A fűtőelemeket csak ezután tekintik kiégettnek. Fontos tehát a korróziós folyamatok ismerete még ilyen hosszú időkre is.

A 2.4.3.2.1. ábrán bemutatott Bode diagramok helyettesítő áramkörének helyességét mi bizonyítja?

Az illesztéseket általában a 10-10000 Hz tartományban végeztük, kivéve az egy napig oxidált mintát, melyben a nagyon vékony oxidréteg hatása a kisebb frekvenciatartományokban jelentkezik. Az ún. Marquardt-algoritmust használtuk: az illesztést a nem-lineáris legkisebb négyzetek módszerével végeztük a komplex impedancia függvényhez, úgy hogy az illesztés végén a szórás értéke kisebb volt mint 10^{-5} . Illusztrációként bemutatok egy ábrát az F11 publikációból, ahol az illesztett görbéket is felüntettük.

Az általunk választott áramkör topológiája plauzibilisnek tűnik, egy viszonylag egyszerű fizikai modell rendelhető hozzá, és az illesztett paraméterekből számított fizikai mennyiségek értékei a várt nagyságrendbe esnek. Természetesen megpróbáltunk más áramköröket is illeszteni a mérésekhez, hiszen minden kinetikai megfigyeléshez többféle mechanizmus is

rendelhető, ezért egy mechanizmus alapján számított és a mért görbék összehasonlítása csak a hibás mechanizmusok elvetésére alkalmas. Ugyan további elemekkel lehet még egy kicsit javítani az adott frekvenciatartományban az illeszkedésen, de ezek az elemek legfeljebb empirikus korrekciók lehetnek volna, azonosítható fizikai tartalom nélkül.



A 2.4.3.2.2. ábrán bizonyos időpontoknál jelentős eltérések vannak az adatsorok fő trendjétől (pl. a bal oldalon 35 nap körül illetve a jobb oldalon 23, 43 és 83 nap táján), és ezek nem tűnnek zajnak. Mi okozhatta ezeket?

Tekintetbe véve a magas hőmérsékletű elektrokémiai mérések bizonytalanságát, valamint azt, hogy nem volt lehetőségünk a minta felületének vizsgálatára *in situ* felületfizikai módszerekkel, nem vállalkoztunk az eltérések interpretálására.

Mi lehet az 54-55 oldalon említett kétféle töltéshordozó az oxidrétegben?

Erre több elmélet is létezik a szakirodalomban. A cirkónium-dioxid *n*-típusú félvezető, azaz a rétegben, így az egyik típusú töltéshordozónak a vegyértéksávban lévő elektronokat tekinthetjük. A másik típusú töltéshordozóval kapcsolatban a legelfogadottabb a Macdonald-féle (J. Electrochem. Soc. 139, 3434 (1992)) lokális hibahely model (point-defect model), mely szerint ezek pozitív töltésű oxigén-ion hibahelyek.

A 2.4.3.3.1. ábrán honnan lehet tudni, hogy a bejelölt szakaszon tényleg ZrO₂ az összetétel? Az ábrán egyébként az α -ZrO_x helyett α -ZrO szerepel.

Bírálom felvetése jogos aggodalomnak ad hangot, hiszen az eredmények értelmezéséhez fontos ismerni az oxidréteg sztöchiometriáját. A Rutherford visszaszóráson alapuló vizsgálati módszer nem csak az oxidréteg átlagos tulajdonságairól ad információt, de segítségével meg lehet határozni az oxigén mennyiségének mélységi eloszlását is. A 2.4.3.3 fejezetben leírt méréseinkből és a szakirodalomban közölt eredményekről arra a következtetésre jutottunk, hogy a minta felületén ZrO₂ összetételű oxid található, míg a fém tömbfázis felé haladva fokozatosan csökken az oxigéntartalom. A többi módszerrel kapott eredmények értékelésénél tehát jó közelítéssel tekinthetjük az oxidréteget cirkónium-dioxidnak.

A 2.4.5. fejezet bevezetésében a szerző nem magyarázza el, hogy az acélok levegőn kialakuló oxid bevonatát miért csiszolt mintákon (az oxidréteggel a csiszolásnál mi történt?), illetve miért kénsavban (mi köze ennek a közegnek a reaktorhoz?) vizsgálta.

A szabványos mintaelőkészítés szerepe az volt, hogy reprodukálható módon hozzunk létre vékony felületi oxidréteget az acélok felületén. A viszonylag egyenletlen felületű, ismeretlen mértékű oxidréteggel bevont mintákat meghatározott módon előkezelve eltávolítottuk az oxidréteget, simára csiszoltuk a felületet, amin egyből létrejött egy vékony, védő oxidréteg. Így módon reprodukálható felületű mintákhoz jutottunk.

A korróziós vizsgálatokhoz több ok miatt választottuk a kénsavat. Egyrészt, a kénsavas közegben a rozsdamentes acél felülete stabil, nem változik a mérés során, így jól reprodukálható eredményeket kaphatunk. Másrészt, a szakirodalomban már több acélfajta viselkedését is leírták kénsavas közegben, így vizsgálatainkat könnyen össze tudtuk vetni ezen eredményekkel.

A 3.2.2.1. ábrán a szaggatott vonalak mit jelentenek? Mi ugyanitt a TV75 jelölés feletti nyíl jelentése? A később c_g illetve c_m jellel megadott koncentrációkat a TV20 illetve a TV61 helyeken mérték?

Szaggatott vonalakkal jelöltem a primerkörbe betáplált illetve onnan elvitt hűtőközeg útját. A nyílak a primerköri hátófoliadék áramlási irányát hivatottak jelezni. Sajnos a TV75 mintavételi hely feletti nyíl a nyomtatásban elcsúszott: ez a nyíl azt jelezné, hogy a vizet a szivattyú az ábrán lefelé keringeti. c_g és c_m mérése a TV20 illetve TV61 helyeken történt.

A 3.2.3.2. fejezet elején a modell leírása nem elég világos. Mi indokolta azt a feltételezést, hogy a szűrési hatásfokok időtől és koncentrációtól független állandók? Ha a mellékáramkörben van lerakódás, akkor miért csak a zónában halmozódnak fel a korróziós termékek hosszú idő után? Ha a gőzfejlesztő a forrás, akkor miért csökken idővel c_g nulla felé? Ha figyelembe vesszük az összes egyszerűsítő feltételt mire eljutott a 3.2.3.2.1. ábrán látható konkrét eredményekig (vagyis hogy a korróziós termékek a gőzfejlesztőben keletkeznek és az onnan kijövő, mért mennyiségük teljes egészében lerakódik a zónában), akkor miért volt szükség a 92. oldali differenciálegyenletek felállítására és megoldására? Az egyszerűsítő feltételek alkalmazásával az eredmény enélkül is kijött volna.

Az általam alkotott egyszerű modellben a korróziótermékek időbeli változását a 3.2.3.2.1 – 3.2.3.2.3 egyenletek írják le. A másodrendű differenciálegyenlet-rendszer megoldását részletesen nem tárgyalom, mert az anyagmennyiségek időfüggését nagyon bonyolult formulák adják meg és az időfüggés kiszámítása nem szükséges a probléma vizsgálatához (azt a kérdést tettük fel, hogy mennyi korróziótermék lesz a zónában egy kampány végére). A rendszer időbeli viselkedésének leírásához tudnunk kellett volna a szűrési hatásfok idő- és koncentráció függését. A végtelen hosszú időhöz tartozó megoldás alapján azonban eljutunk a bírálóm által említett eredményhez, melynek jogosságát az egyenletrendszer megoldása igazolja, azaz az egzakt megoldásból kiindulva eljutottunk egy elfogadható közelítéshez. Ha a szűrési hatásfokról nem tételeztem volna fel, hogy állandó, az egyenletrendszer megoldása és az aszimptota meghatározása sokkal bonyolultabb lett volna.

Még egyszer szeretném megköszönni bírálómnak az alapos, részletekbe menő munkát és pozitív véleményét.

Dr. Nagy Gábor